

Flota de robots (3 tractores autónomos + 2 drones) del proyecto RHEA.

DRONES EN LA AGRICULTURA

Pilar Barreiro, Constantino Valero
Universidad Politécnica de Madrid

El manejo sitio-específico o control variable de insumos asume que las variables biológicas y físicas generalmente no se encuentran uniformemente distribuidas, y sin embargo todavía a día de hoy los tratamientos se realizan mayoritariamente de forma uniforme a nivel de parcelas. Una de las razones que justifican esta realidad es la carencia de técnicas rápidas, precisas y baratas que caractericen de forma continua nuestros campos. Los drones, un tipo específico de UAVs (vehículos aéreos no tripulados), son potencialmente la solución idónea a corto plazo.

Los drones (abejorros, en inglés) se caracterizan por disponer de varios motores (4, 6 u 8) con accionamiento directo sobre sus respectivos álabes. El control independiente de ►►►

- * El proyecto europeo de investigación llamado RHEA trabaja con una flota de máquinas robotizadas constituida por tres tractores autónomos (con sus correspondientes aperos para control de malas hierbas) y dos drones especialmente diseñados para coordinar la información
- * Los drones sobrevuelan la parcela (previa fijación de sus límites con las coordenadas GPS) y toman fotografías de alta resolución que envían al ordenador central, donde se analizan para localizar malas hierbas y enviar a los tractores robotizados a realizar tratamientos donde haya infestación
- * A la espera de una legislación europea, el Gobierno Español ha aprobado unas normas provisionales que permiten utilizar drones para la realización de trabajos aéreos como son actividades de investigación y desarrollo de tratamientos aéreos, fitosanitarios u otros que supongan esparcir sustancias en el suelo o la atmósfera

TRIGO R1 y R2

CHARGER
CRACKLIN
TREMIE
RUDO

ANDINO
GALPINO
STEFANUS
BOTICHELLII

PRIMAVERA
GADES

TRITICALE R1 y R2

SECONSAC
BELLAC
¡CONSULTAR!

GUISANTE R1 y R2

LUNA
CHICARRÓN
VIRIATO
¡CONSULTAR!

VEZA R1 y R2

NIKIAN
MARIANA
¡CONSULTAR!

CEBADA R1 y R2

OTOÑO/INVIERNO

MARADO
MONTAGE
VOLLEY
OROFIL
CARAT
ORCHESTA
ENCARNA

ALTERNATIVA

NURE
GRAPHIC
ACAPULCO
SIGNORA

PRIMAVERA

GARBO
IRANIS
SHAKIRA

AVENA R1 y R2

OTOÑO/INVIERNO

PRIMULA
FRIGANTE (Avena Negra) (Aptitud Forrajera)
CHIMENE

PRIMAVERA

EDELPRINZ

**PRESENTACIÓN EN SACO,
BIG-BAG DE 1000 KG Y GRANEL**

TTITARROS - YEROS - FORRAJERAS - CENTENO HÍBRIDO

Otras variedades, consultar

TRATAMIENTOS DE SEMILLA:

TRIGO, TRITICALE Y VEZA: Dividend + deltametrin
AVENA, CEBADA y GUISANTE: Tebuconazol + celest + deltametrin



OFICINA: C/ Inglaterra Parcela 137
34004 Palencia
Tfno: 979 71 18 49
comercialagrotecnipec@grupotecnipe.com

PLANTA: Ctra. Palencia-León, km 6,5
Autovía A-65 - Salida 10
34192 GRIJOTA (Palencia)
Tfno: 979 76 60 25
grijota@grupotecnipe.com

la velocidad de giro de cada rotor permite que el vehículo avance, cambie de dirección, o permanezca flotando en posición fija. La percepción es similar a la de una medusa en el mar. Esta enorme versatilidad hace que sean idóneos para adquirir imágenes casi en cualquier condición. Además los sistemas actuales de posicionamiento (DGPS, RTK, combinados con unidades inerciales IMUs) permiten establecer planes de vuelo complejos con el fin de obtener mosaicos de imágenes perfectamente georreferenciadas y niveladas.

Cuatro importantes ventajas de los drones respecto a otros sistemas son:

- * Estabilidad en vuelo (especialmente comparado con los helicópteros).
- * Control preciso (comparados con los dirigibles).
- * Posibilidad de efectuar vuelos a la demanda.
- * Capacidad de selección de la resolución espacial variando la altura de vuelo (comparado con otros sistemas de teledetección).

Los drones tienen como principales inconvenientes:

- Escasa capacidad portante (en la mayoría de los casos inferior a 1kg).
- Limitada autonomía de vuelo (generalmente inferior a 1h, 2hectáreas).
- Falta de legislación clara que delimite las condiciones de vuelo permitidas (existe además una clara preocupación relacionada con la privacidad).

La escasa capacidad portante de los drones los restringe al uso de cámaras RGB o multispectrales (varias longitudes de onda), en ningún caso hiperespectrales como las empleadas en teledetección.

Todas las cámaras empleadas en los drones generan datos de reflectancia del cultivo empleándolos para gestionar su manejo de acuerdo con algunas hipótesis de partida. La más relevante indica que el cultivo mediante la fotosíntesis emplea parte de la luz solar en el rango visible (400-700nm) como fuente de energía en los procesos de generación de carbono orgánico (biomasa). Cuando el cultivo está estresado debido a una deficiencia nutricional, su eficiencia en la utilización de la luz solar se ve mermada, de manera que la reflectancia general de un cultivo estresado es superior a la de un cultivo normal.

El reto es identificar espectrales perfiles de reflec-

El hexacóptero AR200 empleado en el proyecto, fabricado por AirRobot.



tancia que estén asociados con estresores (fuentes de stress) bióticos (ej. nematodos) o abióticos específicos (ej. Hídrico, carencia de macro o micronutrientes).

Por otra parte el empleo de índices ópticos normalizados como el NDVI facilitan el reconocimiento de las áreas de suelo sin cubierta vegetal, aspecto fundamental en la identificación de malas hierbas en cultivos en línea.

En los drones el procesamiento de la información cobra especial relevancia para corregir diversos artefactos: inclinación y sombras derivadas de la posición angular de vehículo y del sol en el horizonte.

Cuando el objetivo es mapear malas hierbas es importante establecer desde un principio el umbral de infestación a detectar (plantas/m²), definir la resolución espacial de acuerdo con ello (generalmente al nivel centimétrico) y realizar ensayos sistemáticos de verificación en tierra ('groundtruth').

El procesamiento de datos incluye el empleo de sistemas de análisis propios de la geoestadística que se emplean habitualmente para identificar nuevos yacimientos de minerales. En el caso concreto del mapeado de malas hierbas hay que tener en cuenta que los procedimientos desarrollados para fenómenos geológicos pueden no ser los más adecuados. En este caso la intensidad y dirección de mecanización, o la dirección dominante del viento pueden en muchos casos explicar la evolución de los rodales en campo, dependiendo del sistema de propagación de las plantas. Por tanto el trabajo multidisciplinar es un requisito en el uso de estos equipos, haciéndolo idóneo para pequeñas empresas de servicios en contacto directo con la universidad, o para comunidades de usuarios que puedan permitirse un asesoramiento ►►►

técnico específico.

Una de los resultados más interesantes en el empleo de drones para establecer los insumos como por ejemplo los herbicidas, es que en muchas ocasiones una gran parte de la superficie puede no requerir tratamiento en absoluto lo que reduce enormemente el tiempo de tratamiento, la superficie barrida y el consumo de combustible.

LOS DRONES EN EL PROYECTO RHEA

En un proyecto europeo de investigación llamado RHEA (acrónimo inglés de “robots para una agricultura más eficiente”, ver página web <http://www.rhea-project.eu>) se ha desarrollado una flota de máquinas robotizadas constituida por tres tractores autónomos (con sus correspondientes aperos para control de malas hierbas) y dos drones especialmente diseñados durante el proyecto (2010-2014).



La idea principal desarrollada en este proyecto es que dicha flota de máquinas autónomas cooperen para localizar y eliminar las malas hierbas de una parcela de forma automática, sólo bajo la supervisión de un ordenador central y un operario. La tarea específica de los drones se focaliza en el principio de la ►►►



Fácil de manejar

Pantalla X30 - Control total en múltiples ventanas al mismo tiempo

Arrastra y Suelta: Única pantalla del mercado con diferentes soluciones de Agricultura de Precisión manejada con un solo dedo.

Pantalla X30 todo-en-uno, guiado visual con barra de luces integrada, autoguiado, pulverización, abonadoras, entrada ISO BUS, visualización de área tratada, gestión de datos, plantación, y mucho más ...

Pídale a su distribuidor Topcon una demostración del Sistema 350 con la nueva pantalla X30. Vea lo fácil y rápido que un simple toque se convierte en precisos resultados espectaculares en el campo.

Topcon Positioning Spain
Avda. de la Industria, 35. 28760 Tres Cantos · Madrid · Spain
Telf.: (+34) 902 170 388 · Fax: (+34) 902 170 393
E-mail: atencioncliente@topconpositioning.es



TOPCON
Precision Agriculture
www.topconpa.com

misión, ya que están encargados de sobrevolar la parcela objeto de estudio (previo conocimiento de sus límites mediante las coordenadas GPS de sus vértices) tomando fotografías aéreas de alta resolución de toda la parcela. Las imágenes se envían inalámbricamente al ordenador central y se analizan, para localizar las malas



hierbas y generar con esta información un plan de erradicación para que los tractores robotizados salgan al campo a tratar diferencialmente (pulverizando herbicida, o por métodos físicos) sólo allí donde hay infestación.

Los UAVs han sido diseñados y fabricados por la empresa especialista alemana AirRobot GmbH. Se trata de hexacópteros modelo AR200 de dimensión media, capaces de elevar cargas de hasta 1,5 kg, lo cual permite pensar ya en transportar cámaras avanzadas de última generación. La existencia de seis rotores independientes les hace especialmente potentes y estables durante el vuelo. Pese a que pesan más que otros drones usados en agricultura, también se ha hecho un esfuerzo en ampliar su capacidad de batería, y por tanto su autonomía de vuelo, que finalmente dependerá de la carga que transporten. Otra característica de estos equipos es su capacidad de geolocalización de alta precisión (RTK) y de transmisión de datos a alta velocidad en tiempo real hasta el control remoto o el ordenador central.

La primera pregunta a resolver a la hora de lanzar unos drones sobre una finca es ¿cuál es la ruta más eficiente para obtener una cobertura total del campo, con el mínimo coste en tiempo y energía? Para ello investigadores de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSI Industriales) desarrollaron algoritmos capaces de optimizar la planificación de trayectorias de vuelo, coordinando el trabajo de ambos vehículos aéreos.

Una parte importante de la tarea de los drones en el proyecto RHEA es la definición de los equipos sensores que van a bordo de los mismos, lo cual fue precisado e implementado por los investigadores del IRSTEA, centro francés de investigación localizado en Montpellier. Si bien en un principio se pensó en

adquirir una cámara RGB y otra infrarroja específicas, finalmente se aprovechó que la tecnología de imagen digital ha avanzado considerablemente en los últimos años, y se optó por una solución más económica. Así se modificaron cámaras digitales estándar (RGB, en este caso Canon 500D y 350D) eliminando los filtros infrarrojos que incluyen de serie, para poder obtener los dos canales de mayor interés a la hora de calcular un índice de vegetación normalizado (NDVI), el rojo y el infrarrojo. De hecho son bastantes las empresas de UAV que se inclinan por esta opción económicamente más viable, y ha bastante información disponible al respecto en internet.

El siguiente paso en el tratamiento de la información obtenida por los vehículos aéreos es la fusión de información. Específicamente hay que hacer fusión a dos niveles: fusión de imágenes, y fusión de canales espectrales. La fusión de imágenes es el proceso de creación del mosaico que combina las fotografías individuales de cada parte del campo en una sola imagen. En este proceso cobran especial importancia la precisión GPS del posicionamiento del dron y los algoritmos de búsqueda de características coincidentes en los bordes de las imágenes, para poder unirlos. Los investigadores del IRSTEA colaboraron en este caso con el personal del Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC, Córdoba) para valorar la resolución mínima necesaria y el error de georreferenciación máximo admisibles para obtener un mosaico de calidad, que permitan buscar los rodales de malas hierbas con suficiente acierto.

Por su parte, la fusión de los canales espectrales es el proceso de creación de mapas con diferentes índices vegetativos, dependiendo de las cámaras empleadas o de la ecuación que finalmente queramos aplicar. ▶▶▶

Como se ha citado, en la búsqueda de diferencias entre suelo y planta, o incluso diferentes tipos de vegetación, es usual emplear el índice NDVI tal y como se hizo en este caso. Partiendo de los canales R y NIR registrados por las cámaras se calculó el índice de vegetación. Sin embargo, para localizar con exactitud los rodales de malas hierbas es necesario discriminar los píxeles que corresponden a vegetación deseada (cultivo) de los píxeles pertenecientes a vegetación adventicia (mala hierba). Por ello se desarrollaron estrategias para localizar en el mosaico de imágenes las líneas principales del cultivo y facilitar la tarea de discriminación. Por otro lado, índices de vegetación más sencillos como el de "exceso de verde" (sólo emplea imagen visible, potenciando el valor del canal verde) demostraron también su utilidad en la discriminación de rodales, lo



que permitiría la detección con medios más asequibles que los equipos NIR.

LA LEGISLACIÓN VIGENTE

Una cuestión ampliamente comentada en ►►►

más de
50
años
al servicio
del campo



cereales
legumbres
semillas
fertilizantes
fitosanitarios
gasóleos

Ctra. Huerta a Encinas de Abajo Km.1
37336 HUERTA (Salamanca)
Tlf: 923 36 21 97 - 923 36 22 57 / Fax: 923 36 21 51
campal@bernabecampal.es

www.bernabecampal.es

los últimos meses es la legislación que regula la operación de este tipo de vehículos aéreos... o más bien la falta de legislación hasta hace poco.

En espera de que Europa termine de redactar una normativa de uso común en todo el continente, las empresas que ofre-

cían servicios con drones y los propietarios que volaban sus aparatos a título individual, lo hacían en la más absoluta ilegalidad, ya que se trataba de una actividad no regulada hasta principios de 2014. El gobierno español se adelantó a la norma europea dictando una suerte de prohibición transitoria allá por mediados de abril, por la cual prácticamente prohibía todo tipo de vuelos comerciales de drones en nuestro territorio. Como es evidente, se pasó de una situación de 'todo a nada', lo cual frustró numerosas actividades en las que los drones estaban involucrados, entre otras, la demostración final del citado proyecto europeo RHEA.

Sin embargo, el trabajo del Gobierno español con representantes del sector aéreo ha sido rápido, y a fecha 4 de julio de 2014 el Ministerio de Fomento ha publicado una reglamentación transitoria para la operación de UAVs, que regula a naves y a pilotos, y cuyas principales características son:

- La normativa define los requisitos según el peso de la aeronave y establece las obligaciones que deben cumplir los pilotos y las empresas que las utilicen.
- Los drones de más de 25 Kg deberán inscribirse en el Registro de Matrícula de Aeronaves y disponer de un certificado de aeronavegabilidad, los de peso inferior no.
- Los de más de 150kg se registrarán por la reglamentación actual de Navegación Aérea.
- A partir de ahora se pueden utilizar drones para la realización de trabajos aéreos como son: actividades de investigación y desarrollo; tratamientos aéreos, fitosanitarios y otros que supongan esparcir sustancias en el suelo o la atmósfera, incluyendo actividades de lanzamiento de productos para extinción de incendios; levantamientos aéreos; observación y vigilancia aérea inclu-



yendo filmación y actividades de vigilancia de incendios forestales; publicidad aérea, emisiones de radio y TV, operaciones de emergencia, búsqueda y salvamento; y otro tipo de trabajos especiales

- Se prohíbe su uso sobre centros urbanos

y concentraciones temporales de personal (ej. conciertos)

- Todos los drones, sin excepción, deben llevar fijada en su estructura una placa de identificación, las empresas operadoras de drones deberán tener, entre otros requisitos, un manual de operaciones y un estudio aeronáutico de seguridad para cada operación (por ejemplo, con el viento máximo que va a volar).

- Todos los pilotos de drones deberán acreditar, entre otros requisitos, que son titulares de cualquier licencia de piloto, incluyendo la de piloto de ultraligero, o demostrar de forma fehaciente que disponen de los conocimientos teóricos necesarios para obtenerla.

A falta por tanto de la normativa común europea, el marco legal español ya está fijado. Ahora sólo cabe que las empresas proveedoras de este nuevo servicio agrícola consigan adaptarse a dicha norma para exprimir al máximo todo el potencial que el uso de UAV tiene en la agricultura moderna.

REFERENCIAS

- Andújar D, Ribeiro A, Fernández-Quintanilla C & Dorado J (2011) Accuracy and feasibility of optoelectronic sensors for weed mapping in wide row crops. *Sensors* 11, 2304-2318.
- Fertiliser strategies, drones and apps – New approaches to pest management (2014). Christian Nansen, The University of Western Australia. <http://www.giwa.org.au>
- Rabatel G, Gorretta N, Labbé S. (2014) Getting simultaneous red and near-infrared band data from a single digital camera for plant monitoring applications: Theoretical and practical study, *Biosystems Engineering*, Volume 117, Pages 2-14.
- Torres-Sánchez J, López-Granados F, De Castro AI, Peña-Barragan JM (2013) Configuration and Specifications of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Early Site Specific Weed Management. *PLoS ONE* 8(3): e58210.
- Peña JM, Torres-Sánchez J, de Castro AI, Kelly M, López-Granados F (2013) Weed Mapping in Early-Season Maize Fields Using Object-Based Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images. *PLoS ONE* 8(10): e77151.